

## 論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨の公表

学位規則第 8 条に基づき、論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

○氏名	MOHAMAD Shaiful Bin Abdul Karim (もはまど しゃいふる びん あぶどる かりむ)
○学位の種類	博士 (工学)
○授与番号	甲 第 1092 号
○授与年月日	2016 年 3 月 31 日
○学位授与の要件	本学学位規程第 18 条第 1 項 学位規則第 4 条第 1 項
○学位論文の題名	Determination of Complex Permittivities of Two-layer Materials Based on Hybrid Electromagnetic Methods (ハイブリッド電磁界解析法を用いた二層材料の複素誘電率評価法)
○審査委員	(主査) 服藤 憲司 (立命館大学理工学部教授) 今井 茂 (立命館大学理工学部教授) 瀧口 浩一 (立命館大学理工学部教授) 北澤 敏秀 (立命館大学特別任用教授)

## ＜論文の内容の要旨＞

本論文は、6 章で構成され、高精度な電磁界解析法に基づき、二層材料の複素誘電率評価法の提案と、その有用性の理論的及び実験的検証の研究をまとめている。第 1 章で研究背景と研究動機を説明する。第 2 章では、ハイブリッド電磁界解析法に基づいた二層試料による散乱電磁界計算法の提案を行う。第 3 章では、この数値解析法の精度、効率について検討する。第 4 章では、精度、ロバスト性、汎用性について数値的検討を行う。第 5 章では、導波管とベクトルネットワークアナライザを組み合わせた測定系で、本評価法の実験的検証を行う。最後に、第 6 章で研究成果をまとめる。

この材料評価法は、被測定試料を導波管断面全体に装荷する必要が無い。このため、被測定試料の大きさを、材料の誘電率や損失に合わせて調整でき、高損失材料の評価もできる。また、試料の装荷位置と導波管断面内の電磁界の偏りを効果的に利用し、二層材料を分割することなく、各層の複素誘電率を同時に測定できる。さらに、位相の誤差を生じやすい複素反射係数の測定が不要である。

この材料評価アルゴリズムは、初期値が-50 から+110%ずれた場合でも正しく複素誘電率が求められるロバスト性を有する。また、繰り返し回数 10 以下で効率的に解を収束可能である。X 帯の導波管をベクトルネットワークアナライザと組み合わせた試料測定装置を開発

し、誘電正接 0.2 の高損失層を含む二層試料の実測を行った。二層材料を分割し、個々の層の誘電率を従来の導波管法で測定した値と比較し、X 帯全体にわたり、差異は 2.0%以下、また共振器法による値との差異は 2.4%以下で、二層材料の誘電率が精度よく評価できることを確認した。

#### <論文審査の結果の要旨>

本論文では、高精度なハイブリッド電磁界解析法に基づき、二層材料の複素誘電率を広帯域にわたって測定できる材料評価法を確立した。その主な特徴を以下に示す。

- 1) 測定法の基礎となるハイブリッド電磁界解析法は、近似を含まず、汎用なもので、層状試料を導波管断面内の種々の位置、方向に装荷した構造について、高精度に複素透過係数を求めることができる。
- 2) 被測定試料を導波管断面全体に装荷する必要が無く、試料加工が容易である。被測定試料の大きさを、材料の誘電率や損失に合わせて調整でき、高損失材料の評価も可能である。
- 3) 開発した材料評価アルゴリズムは、装荷位置と導波管断面内の電磁界の偏りを効果的に利用することにより、二層材料を分割することなく各層の複素誘電率を同時に、効率よく評価できる。このアルゴリズムは、初期値変動に対し優れたロバスト性を有し、正確な材料評価が可能である。

三層以上及び磁性体を含む層状材料の評価は残された課題である。しかし、本測定法の拡張や、高精度の測定器、ポジショナーの導入により、測定は可能と考えられる。

本論文は、以下の 3 点において、学術的にも産業的にも高い評価に値するものと判断でき、博士の学位に値する論文であると判断した。

- 1) 二層試料に対し、近似を用いない理論定式化を行い、複素透過係数の計算誤差が  $10^{-7}\%$  以下の高精度で、計算時間が有限要素法の 1 万分の 1 の効率的なプログラムを開発した。
- 2) 二層試料各層の複素誘電率の同時評価が可能なアルゴリズムを確立し、また、初期値が -50 から +110% ずれた場合でも正しく材料評価が可能なロバスト性を有し、10 ステップ以下で収束する効率的な材料評価プログラムを作成した。
- 3) X 周波数帯において試料測定装置を構成し、実測により、二層試料の複素誘電率が精度よく評価できることを確認した。

本論文の審査に関して、2016 年 2 月 1 日（月）に公聴会を開催した。

#### <試験または学力確認の結果の要旨>

本論文の主査は、学位申請者と本学大学院理工学研究科総合理工学専攻博士課程後期課程在学期間中に、研究指導を通じ、日常的に研究討論を行ってきた。また、本論文提出後、主査および副査はそれぞれの立場から論文の内容について評価を行った。

本論文の審査に関して、2016 年 2 月 1 日（月）13 時 00 分～14 時 20 分電子システム系会議室（ウエストウイング 4 階）において公聴会を開催し、学位申請者による論文要旨の説

明の後、審査委員は学位申請者 MOHAMAD Shaiful Bin Abdul Karim に対する口頭試問を行った。各審査委員および公聴会参加者より、理論定式化の詳細、三層試料評価の可能性、測定における材料配置とそれに伴う誤差などの質問がなされたが、いずれの質問に対しても学位申請者の回答は適切なものであった。学位申請者は、本学学位規程第 18 条第 1 項該当者であり、論文内容および公聴会での質疑応答を通して、学位申請者が十分な学識を有し、博士学位に相応しい学力を有していると確認した。

以上の諸点を総合し、学位申請者に対し、本学学位規程第 18 条第 1 項に基づいて、「博士（工学 立命館大学）」の学位を授与することが適当であると判断する。